

Evaluasi Unjuk Kerja *Fire Tube Boiler* TWA 6000KG/H di PT X

Antoni Apta Nugraha Darawia^{1*}, Ayende²

Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Blora, Indonesia^{1,2}

Email Koresponden: antonydarawia239@gmail.com

Abstrak

PT. X memiliki Kilang yang merupakan tempat untuk mengolah minyak mentah menjadi minyak yang dapat digunakan oleh berbagai mesin sesuai dengan jenis bahan bakarnya. Untuk menjaga system produksi dan kualitas nilai kalor bahan bakar di PT. X, dibutuhkan unit Boiler untuk menambahkan dan menjaga nilai kalor bahan bakar yang di produksi. Boiler merupakan bejana tekan yang digunakan untuk menghasilkan uap. Boiler di PT. X menggunakan Feed Water sebagai fluida yang dikonversi menjadi uap. Untuk menjaga agar Boiler bisa memberikan Nilai kalor yang sesuai, dibutuhkan Perawatan dan melakukan Evaluasi unjuk kerja pada boiler. Boiler beroperasi pada saat Minyak mengalami penurunan temperatur di proses pemisahan fraksi fluida, dan pada saat membersihkan perpipaan dari fluida yang tertinggal. Dengan adanya unit Boiler dapat membuat kilang menjadi terawat dan efisien dalam proses produksi minyak jadi. Evaluasi unjuk kerja dari boiler terdiri atas dua metode, yaitu efisiensi secara langsung dan tidak langsung. Efisiensi dengan metode langsung unjuk kerja boiler menunjukkan angka 81.83% dan Efisiensi dengan metode tidak langsung unjuk kerja boiler menunjukkan angka 81.18%. dengan hasil efisiensi yang telah dilaksanakan, diketahui bahwa kinerja dari boiler masih diatas batas kelayakan peralatan dan masih bisa bekerja dengan baik serta mengetahui perbedaan efisiensi antara kedua metode tersebut.

Kata kunci: boiler, evaluasi, kalor, efisiensi

Abstract

PT. X has a Refinery which is a place to process crude oil into min-yak which can be used by various engines according to the type of fuel. To maintain the production system and the quality of fuel calorific value at PT. X, it takes a boiler unit to add and maintain the calorific value of the fuel produced. A boiler is a pressure vessel used to produce steam. Boiler at PT. X uses Feed Water as a fluid that is converted to steam. To keep the boiler able to provide the appropriate calorific value, maintenance and performance evaluation on the boiler are needed. The boiler operates when the oil is experiencing a temperature drop in the fluid fraction separation process, and when cleaning the piping from the residual fluid. With the existence of a boiler unit, it can make the refinery well-maintained and efficient in the finished oil production process. Performance evaluation of boilers consists of two methods, namely direct and indirect efficiency. Efficiency with the direct boiler performance method shows a figure of 81.83% and Efficiency with the indirect boiler performance method shows a figure of 81.18%. With the efficiency results that have been implemented, it is known that the performance of the boiler is still above the feasibility limit of the equipment and can still work well and know the difference in efficiency between the two methods.

Keywords: boiler, evaluation, heat, efficiency

PENDAHULUAN

PT. X memiliki Kilang yang merupakan tempat untuk mengolah minyak mentah menjadi minyak yang dapat digunakan oleh berbagai mesin sesuai dengan jenis bahan bakarnya. Untuk menjaga system produksi dan kualitas nilai kalor bahan bakar di PT. X, dibutuhkan unit *Boiler* untuk meninggikan dan menjaga nilai kalor bahan bakar yang di produksi. Boiler merupakan peralatan yang sangat diperlukan di setiap kilang minyak dan gas. *Boiler* di PT. X menggunakan *Feed Water* sebagai fluida yang diubah menjadi uap (Suwandi, 2022).

Boiler adalah suatu bejana tertutup dan terbuat dari baja yang digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan (*steam*) (Rahmawati, 2018). Tugas *boiler* adalah mengangkut panas ke air se-efektif mungkin setelah energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi panas di dalam tungku (Mallick, 2022). Oleh karena itu, tujuan utama *boiler* adalah menghasilkan uap dengan menyerap panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pada tekanan di atas atmosfer (Putri, 2020).

Dengan menjaga produktivitas *Boiler* dalam menopang kegiatan distribusi dan produksi minyak jadi di PT. X, maka dibutuhkan *maintenance* atau pemeliharaan terhadap *equipment* secara rutin untuk menjaga kehandalan dan ketersediaan dari *Boiler*. Untuk mengetahui kondisi dari *Boiler*, maka diperlukan evaluasi kinerjanya (Sahda et al., 2022). Untuk melaksanakan evaluasi unjuk kerja terhadap *Boiler*, dibutuhkan Data Parameter operasional yang berasal dari *Boiler* pada saat beroperasi. Data Parameter merupakan Data dasar yang didapatkan dari lapangan kerja secara ideal dan aktual, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi dari Boiler tersebut (Silahuddin, 2020). Dengan melakukan pengoperasian data pada *boiler*, operator dapat melakukan Kesimpulan terhadap Alat yang telah dilaksanakan suatu Analisa dan dapat dijadikan acuan pada saat dilakukan *maintenance*.

Boiler merupakan salah satu equipment krusial di kilang minyak karena fungsinya dalam menjaga dan meningkatkan nilai kalor bahan bakar yang diolah (Glagoleva & Kapustin, 2020). Ketergantungan pada boiler dalam proses produksi dan distribusi minyak membuatnya perlu mendapatkan perhatian khusus terkait kehandalan dan efisiensinya. Evaluasi kinerja boiler menjadi penting untuk memastikan alat ini bekerja optimal, mengurangi risiko kerusakan, dan memperpanjang masa operasi. Dengan kondisi industri yang semakin kompetitif, efisiensi energi dan pemeliharaan preventif menjadi aspek strategis yang harus diperhatikan oleh PT. X untuk mendukung keberlanjutan operasional.

Penelitian oleh Rahmawati (2018) mengungkapkan bahwa efisiensi boiler dapat ditingkatkan dengan pemeliharaan yang rutin, terutama melalui analisis parameter operasional seperti tekanan, suhu, dan kapasitas air. Penelitian lain oleh Putri (2020) membahas pentingnya evaluasi efisiensi boiler menggunakan metode langsung dan tidak langsung. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode tidak langsung lebih detail karena mempertimbangkan faktor-faktor seperti kehilangan panas pada cerobong dan radiasi. Hasil ini memberikan panduan penting untuk mengoptimalkan efisiensi boiler di berbagai sektor industri.

Penelitian ini memiliki kebaruan dalam konteks evaluasi efisiensi boiler di lingkungan kilang minyak PT. X dengan menggunakan kombinasi data parameter operasional secara langsung dan tidak langsung. Selain itu, penelitian ini juga fokus pada analisis perbedaan efisiensi antara kedua metode tersebut sebagai dasar untuk menyusun strategi pemeliharaan yang lebih efektif dan efisien. Dengan fokus pada operasional spesifik kilang PT. X, penelitian ini memberikan kontribusi baru yang relevan terhadap peningkatan efisiensi energi di sektor minyak dan gas.

Penelitian ini memberikan manfaat bagi manajemen PT. X dengan menyediakan data dan analisis yang akurat mengenai kinerja boiler. Dengan hasil evaluasi ini, perusahaan dapat merancang program pemeliharaan yang lebih tepat sasaran, meningkatkan efisiensi energi, dan meminimalkan biaya operasional. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi pada

pengembangan metode evaluasi efisiensi boiler di sektor industri, yang dapat diterapkan di kilang-kilang lain untuk mendukung penghematan energi dan keberlanjutan operasional

Dari Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kinerja *boiler* yang telah bekerja selama alat tersebut dihidupkan, dan bisa menjadikan indikasi untuk melakukan *maintenance* apabila terjadi kekurangan batas layak operasi pada *boiler*. Serta untuk mengetahui perbedaan dari perhitungan efisiensi *boiler* secara langsung dengan efisiensi *boiler* secara tidak langsung.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif, yang bertujuan untuk menganalisis kinerja Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h berdasarkan data primer dan sekunder. Metode ini memberikan gambaran mengenai efisiensi boiler dengan menggunakan dua metode evaluasi, yaitu metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*). Data yang diperoleh berupa data operasional boiler dan komposisi bahan bakar yang dianalisis secara kuantitatif untuk mendapatkan hasil efisiensi dan kinerja boiler.

Desain penelitian ini bersifat evaluatif, di mana peneliti melakukan pengamatan langsung terhadap parameter operasional boiler dan pengumpulan data pendukung, seperti konsumsi bahan bakar, produksi uap, suhu, tekanan, dan komposisi bahan bakar

Tempat dan Waktu Penelitian

Penulis melakukan observasi di Perusahaan PT. X yang terlibat dalam sektor energi, khususnya minyak dan gas dan penulis melakukan penelitian selama 1 bulan pada tanggal 1 maret 2022 – 29 maret 2023. Selama 1 bulan penulis telah melakukan orientasi lapangan, pengumpulan data, mengolah data yang telah didapatkan, konsultasi terhadap pembimbing lapangan dan dosen pembimbing dalam membuat suatu laporan.

Subyek Penelitian

Subyek yang digunakan adalah *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h dengan spesifikasi seperti berikut.

Tabel 1. Spesifikasi dari *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h

<i>Fire Tube Boiler</i> TWA 6000 kg/h		
No.	Deskripsi	Spesifikasi
1.	<i>Model</i>	<i>Horizontal-Wet Back System</i>
2.	<i>Evaporation Cap.</i>	6000 Kg/H
3.	<i>Design Pressure</i>	3.234.000Kcal/H
4.	<i>Max. working press</i>	10 Kg/cm ²
5.	<i>Superheated Steam Temperature</i>	<i>Minimum 200⁰C – at P = 4 Kg/cm²</i>
6.	<i>Fuel</i>	<i>Heavy Oil Fuel</i>
7.	<i>Burner Firing Rate</i>	77-460 Kg/H (Min – Max)
8.	<i>Fuel Consumption</i>	396 Kh/H – <i>load factor</i> 100%
9.	<i>Boiler Efficiency</i>	85%
10.	<i>Material Tube Plate</i>	SB 410/DIN 17155 H II ASTM – A 516 – Gr.70

Data Penelitian

Pengambilan data sebagai bentuk penelitian yang didapatkan dari studi literatur terkait data pengamatan terhadap kondisi data operasi dari *Boiler*. Berikut merupakan hasil data yang telah didapatkan.

Tabel 2. Data Fire Tube Boiler saat Bekerja

Feedwater				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Feedwater Temperature</i>	T_w	60	$^{\circ}\text{C}$
2.	<i>Feedwater Pressure</i>	P_w	1	kg/cm^2
3.	<i>Enthalpy (60$^{\circ}\text{C}$)</i>	h_w	60,033	kcal/kg
4.	<i>Specific Volume</i>	V_w	0,00102	m^3/kg
5.	<i>Time operating</i>	t	24	hour
6.	<i>Feedwater consumption</i>	-	3824	m^3/h
7.	<i>Total feedwater consumption</i>	W		
8.	<i>Total feedwater consumption with Excess air</i>	W_w	3760,08	kg/h
Steam Production				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Steam Temperature</i>	T_s	140	$^{\circ}\text{C}$
2.	<i>Steam Pressure</i>	P_s	4	kg/cm^2
3.	<i>Total steam production</i>	W_s	3256	kg/h
4.	<i>Superheated steam Enthalpy</i>	h_s	653,322	kcal/kg
Blowdown				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Blowdown Temperature</i>	W_{BD}	95	$^{\circ}\text{C}$
2.	<i>Blowdown Pressure</i>	T_{BD}	4	kg/cm^3
3.	<i>Blowdown Enthalpy</i>	P_{BD}	95,146	kcal/kg
4.	<i>Total blowdown weight</i>	h_{BD}	504,0787	kg/h
Fuel Consumption				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Fuel Temperature</i>	T_f	72	$^{\circ}\text{C}$
2.	<i>Fuel Pressure</i>	P_f	14	kg/cm^2
3.	<i>Water content ratio in fuel</i>	M_f	0,003	kg
	<i>Water content in fuel</i>	W	0.3	%
4.	<i>Specific Gravity</i>	SG	0,9182	kg/l
5.	<i>Fuel Usage</i>	-	5486	liter/day
6.	<i>Total Fuel Consumption</i>	W_f	209,885	kg/h
7.	<i>Specific Heat of Fuel</i>	C_{pf}	0,48	$\text{kcal}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$
8.	<i>Oxygen requirement for perfect fuel oil combustion</i>	W_o	691,31	kg/h
9.	<i>Theoretical air requirement</i>	W_a	3004,88	kg/h
10.	<i>Actual air requirement</i>	W_A	3665,96	kg/h
Gas Input Data				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Gas Temperature</i>	T_{fg}	190	$^{\circ}\text{C}$
2.	<i>Gas Enthalpy</i>	h_{sup}	655,702	kcal/kg
3.	<i>Dry gas produced from combustion.</i>	W_{fg}	2979,12	kg/h
Air Inlet				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Air Temperature</i>	T_a	30	$^{\circ}\text{C}$
2.	<i>Moisture Ratio</i>	M_a	0,013	kg
3.	<i>Specific heat of air</i>	C_{pa}	0,24	$\text{kcal}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$

Bahan bakar yang digunakan *Boiler* adalah *Heavy Fuel Oil* (HFO). Untuk mendapatkan hasil Kandungan unsur kimia dari Bahan Bakar *Boiler*, maka diperlukan Nilai dari °API. Rumus dari °API Dijelaskan pada bagian pengolahan data (Esfandiyari, 2021). Setelah mendapatkan nilai °API, hasil tersebut akan mendapatkan Komposisi seperti berikut pada tabel “*Combustion Characteristic of Liquid Fuels*” pada buku “*Process Heat Transfer*”.

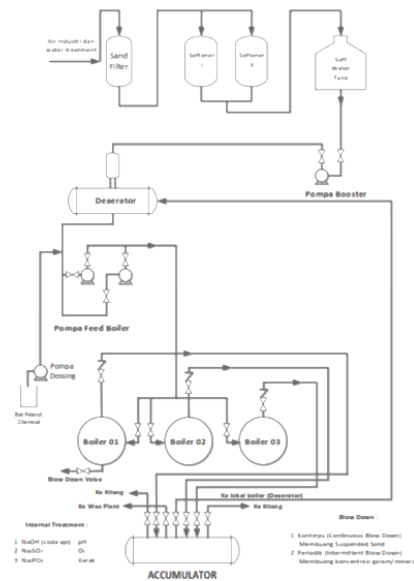
Tabel 3. Komposisi Bahan Bakar

Kandungan Bahan Bakar		
No.	Komposisi Bahan Bakar	Presentase Kandungan
1.	<i>Carbon (C)</i>	86,2%
2.	<i>Hydrogen (H₂)</i>	12,39%
3.	<i>Sulphur (S)</i>	0,39%
4.	<i>Oxygen (O₂)</i>	0,37%
5.	<i>Nitrogen (N₂)</i>	0,12%
6.	<i>Water (H₂O)</i>	0,43%
7.	<i>Ash</i>	0,1%
	TOTAL	100%

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Umum

Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h digunakan sebagai pemanas minyak dan membersihkan saluran *piping* dengan memanfaatkan *feedwater* menjadi uap. Sebelum menjadi uap, *feedwater* akan disalurkan ke sand ke dalam sistem filtrasi yang berfungsi untuk menyaring unsur yang dapat mengurangi efisiensi dari *boiler*. Sistem filtrasi terdiri dari 3 peralatan, peralatan pertama adalah *Sand filter* yang Dimana peralatan tersebut akan memisahkan fluida air dari kotoran yang Bersama fluida *feedwater*, selanjutnya menuju ke *softener* untuk menghilangkan kandungan garam mineral dari *feedwater*, dan *Deaerator* yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan O₂ pada fluida yang digunakan untuk air umpan *Boiler*. Setelah melewati sistem filtrasi, *Feedwater* akan menuju ke *Boiler*. Pada saat didalam *boiler*, *Burner* akan memberikan panas yang dapat merubah *Feedwater* menjadi uap yang bisa berguna untuk saluran perpipaan. Untuk menyalurkan ke area yang akan dipanaskan dan dibersihkan, digunakan *Accumulator* yang akan mengatur aliran uap menuju ke tempat tersebut. Berikut merupakan diagram alir dari *Boiler*.



Gambar 1. Diagram Alir unit Boiler

Pengolahan data digunakan untuk menentukan Evaluasi unjuk kerja yang dihasilkan oleh *Boiler*.

Menentukan Kalor yang dihasilkan oleh *Boiler*

Dengan mengetahui Kalor yang dihasilkan, Formulasi dari efisiensi *Boiler* bisa didapatkan.

1. Menghitung °API

Untuk membutuhkan Komposisi yang berada pada Kandungan dari Bahan Bakar *Boiler*, maka diperlukan untuk menghitung °API yang ditentukan oleh spesifik gravitasi Bahan Bakar. °API merupakan Ukuran yang digunakan untuk membandingkan densitas cairan Petroleum dan Komposisi kualitas minyak.

Berikut merupakan °API dari bahan bakar *Boiler*.

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{SG}} - 131,5$$

Keterangan:

SG = *Specific Gravity*

2. Menghitung *Higher Heating Value* (HHV)

Dalam menghitung HHV, diperlukan hasil dari Persentase Kandungan Karbon, Hidrogen dan Sulfur dari bahan bakar *Boiler*.

Berikut merupakan rumus HHV.

$$\text{HHV} = 8080C + 34500 H_2 - 2220 S$$

Keterangan:

C = Presentase Karbon

H₂ = Presentase Hidrogen

S = Presentase Sulfur

Direct Method Boiler Efficiency

Cara yang digunakan untuk menghitung efisiensi *boiler* dengan menghitung besarnya *superheated steam* yang dihasilkan dibandingkan dengan panas hasil pembakaran dengan bahan bakar.

1. Menghitung Efisiensi Kalor menggunakan Metode Langsung (η_{boiler})

Metode secara langsung digunakan untuk menghitung efisiensi boiler dengan menghitung besarnya *superheated steam* yang dihasilkan dibandingkan dengan panas hasil pembakaran dengan bahan bakar (Handoyo & Irawan, 2023).

Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menentukan efisiensi kalor *Boiler*.

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{W_s \times (h_s - h_w)}{W_f \times \text{HHV}} \times 100\%$$

Keterangan:

W_s = Jumlah produksi steam, kg/jam

H_s = Enthalpy *superheated steam*, kkal/kg

H_w = Enthalpy air umpan boiler, kkal/kg

W_f = Jumlah pemakaian bahan bakar, kg/jam

HHV = Nilai *Higher heating Value*, kkal/kg

In-direct Method Boiler Efficiency

Cara menghitung efisiensi *boiler* secara tidak langsung yaitu dengan menghitung besarnya panas yang tidak bermanfaat (*heat loss*). Metode ini sangat efektif digunakan dalam usaha untuk menemukan potensi penghematan energi *boiler* berdasarkan neraca panas.

1. Menghitung Panas hasil pembakaran bahan bakar (Q_p)

Perhitungan ini merupakan salah satu cara untuk menentukan panas masuk yang menggunakan jumlah bahan bakar dan nilai *Higher heating Value*.

Berikut merupakan rumus Panas pembakaran bahan (Rahmawati, 2018).

$$Q_p = W_F \times HHV$$

Keterangan:

HHV = Nilai Higher heating Value, kkal/kg

W_F = Jumlah bahan bakar, kg/jam

2. Menghitung Panas *sensible* bahan bakar. (Q_f)

Salah satu dari cara untuk menghitung panas yang masuk, dengan menggunakan kandungan air dalam bahan bakar, panas jenis dan total berat pemakaian bahan bakar.

Berikut merupakan rumus dari Panas *sensible* bahan bakar (Macola & Iswanto, 2021).

$$Q_f = (1 - W) \times C_{PF} \times W_F$$

Keterangan:

W = Kandungan Air dalam BB, %

C_{PF} = Panas Jenis Bahan Bakar, kkal/kg °C

W_F = Total Berat Pemakaian BB, kg/jam

3. Menghitung Panas *sensible* air karena kelembapan bahan bakar. (Q_w)

Salah satu Panas masuk yang menggunakan kandungan air dalam bahan bakar, panas jenis, temperature serta total berat pemakaian bahan bakar (Harnowo & Yunaidi, 2021).

Berikut merupakan Panas *Sensible* air karena kelembapan bahan bakar.

$$Q_w = W \times T_F \times C_{PF} \times W_F$$

Keterangan:

W = Kandungan Air dalam BB, %

T_F = Temperatur Bahan bakar, °C

C_{PF} = Panas Jenis Bahan Bakar, kkal/kg °C

W_F = Total Berat Pemakaian BB, kg/jam

4. Menghitung Panas *Sensible* udara pembakaran (Q_{Al})

Salah satu Panas masuk yang menggunakan Kebutuhan udara aktual, temperature udara dan panas jenis udara (Rifa, 2023).

Berikut merupakan hasil dari Panas *sensible* udara pembakaran.

$$Q_{Al} = W_A \times C_{Pa} \times T_a$$

Keterangan:

W_A = Kebutuhan udara secara aktual, kg/jam

T_a = Temperatur udara, °C

C_{Pa} = Panas Jenis udara, kkal/kg °C

5. Menghitung Panas *sensible* air karena kelembapan udara (Q_{ma})

Salah satu Panas masuk yang menggunakan Kebutuhan udara secara aktual, temperature udara, rasio kelembapan dan panas jenis dari udara (Kurniawati, 2017).

Berikut merupakan Panas *sensible* air karena kelembapan udara.

$$Q_{ma} = W_A \times M_a \times T_a \times C_{Pa}$$

Keterangan:

W_A = Kebutuhan udara secara aktual, kg/jam

T_a = Temperatur udara, °C

M_a = Rasio kelembapan, kg

C_{Pa} = Panas Jenis udara, kkal/kg °C

6. Menghitung Panas *sensible* air umpan (Q_{fw})
Salah satu Panas masuk yang menggunakan Jumlah berat pemakaian air umpan dan entalpi air umpan (Rizki, 2022).
Berikut merupakan Panas *sensible* air umpan.

$$Q_{fw} = W_w \times h_w$$

Keterangan:

W_w = Jumlah berat pemakaian air umpan, kg/jam

h_w = Entalpi air umpan, kkal/kg

7. Panas yang terbawa oleh hasil uap (Q'_s)
Salah satu Panas keluar yang menggunakan Jumlah produksi uap dan entalpi uap panas lanjut (Husen, 2022).

Berikut merupakan Panas yang terbawa oleh hasil uap.

$$Q'_s = W_s \times h_s$$

Keterangan:

W_s = Jumlah produksi uap, kg/jam

h_s = Enthalpy uap panas lanjut, kkal/kg

8. Panas yang terbawa oleh *blowdown* (Q'_{BD})
Salah satu Panas keluar yang menggunakan Jumlah berat dan entalpi dari *Blowdown* (Pebriani, 2017).
Berikut merupakan Panas yang terbawa oleh *Blowdown*.

$$Q'_{BD} = W_{BD} \times h_{BD}$$

Keterangan:

W_{BD} = Jumlah berat *blowdown*, kg/jam

h_{BD} = Entalpi *blowdown*, kkal/kg

9. Panas yang terbawa oleh gas Asap (Q'_{fg})
Salah satu Panas keluar yang menggunakan gas asap dan temperature gas pembakaran serta panas jenis udara (Amran, 2018).
Berikut merupakan Panas yang terbawa oleh gas Asap.

$$Q'_{fg} = W_{fg} \times C_{pa} \times T_{fg}$$

Keterangan:

W_{fg} = Gas Asap Hasil Pembakaran, kg/jam

C_{pa} = Panas Jenis udara, kkal/kg °C

T_{fg} = Temperatur Gas, °C

10. Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena kelembaban bahan bakar (Q'_w)
Berikut merupakan rumus dari Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap, karena kelembaban bahan bakar (Winarto, 2023).

$$Q'_w = W \times M_f \times h_{SUP}$$

Keterangan:

W = Kandungan Air dalam BB, %

M_f = Kandungan air bahan bakar, kg

h_{sup} = Entalpi *Superheated*, kkal/kg

11. Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena adanya hydrogen didalam bahan bakar (Q'_H)

Berikut merupakan rumus dari Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena adanya hidrogen (Husen, 2022).

$$Q'_H = 9H_2 \times h_{SUP}$$

Keterangan:

$9H_2$ = Kandungan Hidrogen dalam Boiler.

h_{sup} = Entalpi *Superheated*, kkal/kg

12. Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara dalam pembakaran (Q'_{ma})

Berikut merupakan rumus dari Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara dalam pembakaran (Kawiarso et al., 2023).

$$Q'_{ma} = W_A \times M_a \times h_{SUP}$$

Keterangan:

W_A = Kebutuhan udara secara aktual, kg/jam

M_a = Rasio kelembaban, kg

h_{sup} = Entalpi *Superheated*, kkal/kg

13. Panas yang hilang melalui dinding ketel (Q_{WALL})

Panas tersebut terjadi karena selisih antara panas masuk dengan panas yang dikeluarkan (Kawiarso et al., 2023).

Berikut merupakan rumus dari Panas yang hilang melalui dinding ketel.

$$Q'_{WALL} = (Q_P + Q_F + Q_W + Q_{AI} + Q_{MA} + Q_{FW}) - (Q'_S + Q'_{BD} + Q'_{FG} + Q'_W + Q'_H + Q'_{MA})$$

Keterangan:

Q_P = Panas hasil pembakaran bahan bakar, kkal/kg

Q_F = Panas sensible bahan bakar, kkal/kg

Q_W = Panas sensible air karena kelembaban bahan bakar, kkal/kg

Q_{AI} = Panas sensible udara pembakaran, kkal/kg

Q_{MA} = Panas sensible air karena kelembaban udara, kkal/kg

Q_{FW} = Panas sensible air umpan, kkal/kg

Q'_S = Panas yang terbawa oleh hasil uap, kkal/kg

Q'_{BD} = Panas yang terbawa oleh blowdown, kkal/kg

Q'_{FG} = Panas yang terbawa oleh gas Asap, kkal/kg

Q'_W = Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena kelembaban BB, kkal/kg

Q'_H = Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap akibat hidrogen dalam BB, kkal/kg

Q'_{MA} = Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara, kkal/kg

14. Menghitung efisiensi *boiler* dengan metode tidak langsung (η_{Boiler})

Berikut merupakan rumus dari Efisiensi *boiler* dengan metode tidak langsung (Rismawati et al., 2021).

$$\eta_{Boiler} = \left(1 - \frac{(Q'_S + Q'_{BD} + Q'_{FG} + Q'_W + Q'_H + Q'_{MA})}{(Q_P + Q_F + Q_W + Q_{AI} + Q_{MA} + Q_{FW})} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

Q_P = Panas hasil pembakaran bahan bakar, kkal/kg

Q_F = Panas sensible bahan bakar, kkal/kg

Q_W = Panas sensible air karena kelembaban bahan bakar, kkal/kg

Q_{AI} = Panas sensible udara pembakaran, kkal/kg

Q_{MA} = Panas sensible air karena kelembaban udara, kkal/kg

- Q_{FW} = Panas sensible air umpan, kkal/kg
 Q'_S = Panas yang terbawa oleh hasil uap, kkal/kg
 Q'_{BD} = Panas yang terbawa oleh blowdown, kkal/kg
 Q'_{FG} = Panas yang terbawa oleh gas Asap, kkal/kg
 Q'_W = Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena kelembaban BB, kkal/kg
 Q'_H = Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap akibat hydrogen dalam BB, kkal/kg
 Q'_{MA} = Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara, kkal/kg
 Q'_{WALL} = Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara, kkal/kg

Hasil Perhitungan dari Evaluasi Unjuk Kerja *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h

Setelah melakukan pengolahan data dan Perhitungan dengan menggunakan persamaan, berikut merupakan hasil perhitungan dari *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h.

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h

Perhitungan Pembakaran				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	°API	-	22,60	-
2.	<i>Higher Heating Value</i>	HHV	11248,17	kkal/kg
Perhitungan Efisiensi Boiler dengan metode langsung				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Efisiensi Boiler	η_{Boiler}	81,83	%
Perhitungan Panas Masuk				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Panas Hasil Pembakaran bahan bakar	Q_P	2360824.18	Kkal/jam
2.	Panas Sensible bahan bakar	Q_f	14	Kkal/jam
3.	Panas Sensible air Karena Kelembapan bahan bakar	Q_w	0,003	Kkal/jam
4.	Panas Sensible Udara Pembakaran	Q_{Al}	26394.88	Kkal/jam
5.	Panas sensible air karena kelembaban udara	Q_{ma}	343.13	Kkal/jam
6.	Panas sensible air umpan	Q_{fw}	225567.119	Kkal/jam
Perhitungan Panas Keluar				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Panas yang terbawa oleh hasil uap	Q'_s	2127216.43	Kkal/jam
2.	Panas yang terbawa oleh <i>blowdown</i>	Q'_{BD}	47928.81	Kkal/jam
3.	Panas yang terbawa oleh gas Asap	Q'_{fg}	135847.72	Kkal/jam
4.	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena kelembaban bahan bakar	Q'_w	6.14	Kkal/jam
5.	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena adanya hydrogen didalam bahan bakar	Q'_H	159635.35	Kkal/jam
6.	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara dalam pembakaran	Q'_{ma}	32506.04	Kkal/jam
7.	Panas yang hilang melalui dinding ketel	Q'_{wall}	117242.46	Kkal/jam
Perhitungan Efisiensi Boiler dengan metode tidak langsung				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Efisiensi Boiler	η_{Boiler}	81,18	%

Dari hasil perhitungan menggunakan kedua metode sebagai pembandingan, metode langsung memiliki hasil persentase yang tidak jauh beda dari Metode tidak langsung. Dengan nilai

efisiensi pada batas 81 hingga 82 %, *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h dapat dikatakan masih sangat layak beroperasi sesuai dengan fungsinya, karena masih berkurang 3 hingga 4% dari Data spesifikasinya yaitu sebesar 85% dan batas minimal efisiensi sebuah boiler dikatakan baik untuk beroperasi adalah 75%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi kinerja *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h di PT. X, dapat disimpulkan bahwa efisiensi boiler masih berada dalam batas layak operasi. Perhitungan efisiensi dengan metode langsung menunjukkan hasil sebesar 82%, sedangkan metode tidak langsung menghasilkan efisiensi sebesar 81%. Perbedaan ini terjadi karena metode langsung menggunakan perhitungan yang lebih sederhana, sementara metode tidak langsung melibatkan analisis lebih mendetail dengan mempertimbangkan variabel panas masuk dan keluar secara kompleks. Meskipun demikian, kedua metode memberikan hasil yang saling melengkapi dalam mengevaluasi kinerja boiler. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa boiler mampu bekerja secara efisien, namun tetap memerlukan pemantauan berkala untuk menjaga kehandalan dan efisiensi operasionalnya. Evaluasi ini juga dapat menjadi acuan bagi perbaikan sistem pemeliharaan dan pengoperasian boiler, sehingga dapat mendukung keberlanjutan proses produksi di PT. X.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, R. S. (2018). *Pengaruh Luas Ventilasi Udara Terhadap Laju Pengeringan Pada Alat Pengering Ikan lele Dengan Kapasitas 30 kg*. Universitas Islam Riau.
- Esfandiary, R. (2021). *Desain Inert Gas System Pada Sistem Bahan Bakar Gas Kapal Harbour Tug Dual Fuel Engine 2x2500 HP*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Glagoleva, O. F., & Kapustin, V. M. (2020). Improving the efficiency of oil treating and refining processes. *Petroleum Chemistry*, 60, 1207–1215.
- Handoyo, Y., & Irawan, G. (2023). Efektivitas Penggunaan Economizer Terhadap Performa Boiler Fire Tube. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 11(2), 108–114.
- Harnowo, S., & Yunaidi, Y. (2021). Kinerja Boiler dengan Sistem Pembakaran Bersama antara Ampas Tebu dengan Sekam Padi dan Cangkang Kelapa Sawit. *Semesta Teknik*, 24(2), 102–110.
- Husen, A. (2022). Analisis Efisiensi Energi Pada Boiler Industri Tipe Fire-Tube Kapasitas 2Ton/Jam Dengan Bahan Bakar Compressed Natural Gas (Cng) Di Pt. X. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 32(2), 67–75.
- Kawiarso, K., Nuryoto, N., & Irawan, A. (2023). Pengaruh Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler Pada Pembangkit CFB Batubara Dalam Sistem Co-firing. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(3), 281–296.
- Kurniawati, I. D. (2017). *Indikator Pencemaran Udara Berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Kondisi Iklim (Studi di Wilayah Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang)*. Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Macola, A. A., & Iswantoro, A. (2021). *Analisis Perbandingan Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Ditinjau Dari Aspek Ekonomi Dampak Covid-19: Studi Kasus MV Puteri Sejati Rute Pelabuhan Tanjung Intan-Pelabuhan Adang Bay*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mallick, A. R. (2022). *Practical boiler operation engineering and power plant*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Pebriani, R. (2017). *Analisis Peluang Penghematan Energi pada Water Tube Boiler Menggunakan Bahan Bakar LPG*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Putri, Z. Z. A. L. (2020). *Analisis Sistem Thermal Ditinjau Dari Pengaruh Rasio Udara Bahan*

Bakar Solar Terhadap Produksi Saturated Steam Pada Cross Section Water Tube Boiler.
Politeknik Negeri Sriwijaya.

- Rahmawati, K. (2018). Perancangan Desain Boiler pada Mini Plant Steam Engine untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Progr. Stud. DIII Teknol. Instrumentasi Dep. Tek. Instrumentasi Fak. Vokasi Inst. Teknol. Sepuluh Nop. Surabaya, Hal, 1–96.*
- Rifa, L. (2023). *Analisis Pemanfaatan Gas Ch 4 Limbah Sampah Menjadi Energi Listrik Dengan Menggunakan Mikroturbin Gas (Studi Kasus: Tempat Pembuangan Akhir Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru).* Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Rismawati, D., Ibrahim, H., & Sutrisno, J. (2021). Analisis Sistem Distribusi Uap dari Water Tube Boiler Dengan Kapasitas 45 Ton/Jam. *Sinergi Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 2(2), 37–44.*
- Rizki, A. (2022). *Analisis Potensi Energi Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Dengan Pemanfaatan Limbah Sabut Kelapa Dan Bottom Ash”(Studi Kasus: PT. Pulau Sambu Kuala Enok).* Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Sahda, N. T., Sentosa, J. M., & Andhani, L. (2022). Analisis Efisiensi Boiler menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang. *Journal of Engineering Environmental Energy and Science, 1(1), 39–48.*
- Silahuddin, W. (2020). *Simulasi dan Analisis Keseimbangan Energi pada UJP Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW Dengan Menggunakan Cycle Tempo.* Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Suwandi, S. (2022). *Analisa Unjuk Kerja Boiler Kapasitas 45 Ton Uap/Jam Di PT. Rohul Sawit Industri.* Universitas Islam Riau.
- Winarto, S. (2023). Perbandingan Efisiensi Pada Boiler II TWA PPSDM Migas Menggunakan Metode Langsung Dan Tidak Langsung Periode Bulan Maret 2023: Comparison Of Efficiency In Boiler II TWA PPSDM Oil And Gas Using Direct And Indirect Methods For The Month Of March 2023. *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom, 5(2), 167–174.*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.